

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000273574  
PUBLICATION DATE : 03-10-00

APPLICATION DATE : 25-03-99  
APPLICATION NUMBER : 11081629

APPLICANT : MITSUBISHI SEIKO MURORAN TOKUSHUKO KK;

INVENTOR : UENO HIDEO;

INT.CL. : C22C 38/00 C21D 1/06 C22C 38/06 C22C 38/60

TITLE : STEEL FOR CARBURIZING OR CARBONITRIDING TREATMENT

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide steel for carburizing or carbonitriding improved in compressive residual stress and surface hardness even while its surface roughness caused by shot peening treatment is reduced.

SOLUTION: Steel subjected to shot peening after carburizing or carbonitriding has a compsn. contg., by weight, 0.10 to 0.30% C, 0.40 to 1.50% Si, 0.30 to 2.40% Mn, 0.01 to 0.050% Al and 0.0050 to 0.0250% N or furthermore contg. one or  $\geq$  two kinds among 0.005 to 0.035% S, 0.01 to 0.09% Pb, 0.04 to 0.20% Bi, 0.002 to 0.030% Te, 0.01 to 0.20% Zr and 0.0001 to 0.0100% Ca, and the balance Fe with inevitable impurity elements.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

BEST AVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-273574  
(P2000-273574A)

(43) 公開日 平成12年10月3日 (2000.10.3)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 N
C 2 1 D 1/06		C 2 1 D 1/06	A
C 2 2 C 38/06		C 2 2 C 38/06	
38/60		38/60	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願平11-81629	(71) 出願人	594115898 三菱製鋼室蘭特殊鋼株式会社 東京都中央区晴海三丁目2番22号
(22) 出願日	平成11年3月25日 (1999.3.25)	(72) 発明者	福住 達夫 北海道室蘭市仲町12番地 三菱製鋼室蘭特 殊鋼株式会社室蘭製作所内
		(72) 発明者	上野 英生 北海道室蘭市仲町12番地 三菱製鋼室蘭特 殊鋼株式会社室蘭製作所内
		(74) 代理人	100078994 弁理士 小松 秀岳 (外2名)

(54) 【発明の名称】 浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼

(57) 【要約】

【課題】 ショットピーニング処理による表面粗れを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上する浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼を提供する。

【解決手段】 浸炭あるいは浸炭窒化処理後にショットピーニングする鋼があつて、重量%でC=0.10~0.30%, Si=0.40~1.50%, Mn=0.30~2.40%, Al=0.01~0.050%, N=0.0050~0.0250%あるいは、さらにS=0.005~0.035%, Pb=0.01~0.09%, Bi=0.04~0.20%, Te=0.002~0.030%, Zr=0.01~0.20%, Ca=0.0001~0.0100%の1種又は2種以上を含有し、残部Fe並びに不可避免の不純物元素からなる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 浸炭あるいは浸炭窒化処理後にショットピーニング処理する鋼であって、重量パーセントで

$C=0.10\sim0.30\%$

$Si=0.40\sim1.50\%$

$Mn=0.30\sim2.00\%$

$Al=0.01\sim0.050\%$

$N=0.0050\sim0.0250\%$

を含有し、残部Fe並びに不可避免的不純物元素からなることを特徴とする浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【請求項2】 請求項1記載の組成に、

$S=0.005\sim0.035\%$

$Pb=0.01\sim0.09\%$

$Bi=0.04\sim0.20\%$

$Te=0.002\sim0.030\%$

$Zr=0.01\sim0.20\%$

$Ca=0.0001\sim0.0100\%$

の中の1種または2種以上を含有してなる浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【請求項3】 請求項1又は2記載の組成に、

$P=0.030\%$ 以下

$Ni=2.00\%$ 以下

$Cr=2.00\%$ 以下

$Mo=1.00\%$ 以下

$Cu=0.50\%$ 以下

$V=0.50\%$ 以下

$Nb=0.050\%$ 以下

$Ti=0.050\%$ 以下

$B=0.0050\%$ 以下

$O=0.0015\%$ 以下

の1種又は2種以上を含有してなる浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、浸炭焼入れ、焼戻し処理や浸炭窒化処理等の後に、ショットピーニング処理を実施することにより、歯車類の疲労強度を向上する浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来の技術として、歯車類の疲労強度を向上する為に、浸炭焼入れ-焼戻し処理や浸炭窒化処理等の後にショットピーニング処理を実施し、圧縮残留応力と表面硬さの向上を図る方法自体は普遍的に活用されている。

【0003】近年、自動車類の燃費改善やエンジン高出力化への対応として、歯車類の小型・軽量化と高応力負荷化が要求されているが、ショットピーニング処理の際にショットの投射条件をより強くすることによって、より高強度化を図る方法が指向されている。

【0004】ところが、従来技術では、ショットピーニ

ング処理の強度を上げると、表面粗さが大きくなり、歯車転動中の接触面で摩擦力が大きくなることより、かえって、面疲労強度が低下する現象が見られるようになってきた。

【0005】これに対して、特開平3-120313では、ショットピーニング処理後切削加工により表面粗れを改善する方法が提案されている。また、特公平7-109004では、軟らかい表面不完全焼入れ層深さを低減することにより、ショットピーニング処理後の表面粗さを低減する方法が提案されている。

【0006】しかしながら、前者の方法については、切削工程が必要なことからコストが上昇し、複雑な歯車形状では切削が困難であるといった問題点がある。また、後者の方法については、表面不完全焼入れ層深さだけを低減しても、焼入れの際に生ずる残留オーステナイト量の存在から、必ずしも表面硬さの低下が抑えられず、ショットピーニング処理後に表面粗さが大きくなる鋼種もあるといった問題点がある。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明が解決しようとする課題は、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗れを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記課題を解決するための手段として、鋭意研究を重ねた結果、浸炭焼入れ-焼戻し処理後や浸炭窒化処理等の後のショットピーニング処理前に、軟らかい残留オーステナイトを減少することによって、ショットピーニング処理による表面粗れの増加を低減し、かつ、圧縮残留応力と表面硬さを向上できる組成を見出した。

【0009】また、浸炭焼入れ-焼戻し処理後や浸炭窒化処理後の残留オーステナイトは、鋼の化学成分を調整することによって、浸炭および浸炭窒化処理用鋼として想定しうる化学成分の範囲全般においても、減少できる組成を見出した。すなわち、本発明は下記の構成よりなる。

【0010】(1) 浸炭あるいは浸炭窒化処理後にショットピーニング処理する鋼であって、重量パーセントで

$C=0.10\sim0.30\%$

$Si=0.40\sim1.50\%$

$Mn=0.30\sim2.00\%$

$Al=0.01\sim0.050\%$

$N=0.0050\sim0.0250\%$

を含有し、残部Fe並びに不可避免的不純物元素からなることを特徴とする浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【0011】(2) 上記(1)記載の組成に、

$S=0.005\sim0.035\%$

$Pb=0.01\sim0.09\%$

$Bi=0.04\sim0.20\%$

Te=0.002~0.030%

Zr=0.01~0.20%

Ca=0.0001~0.0100%

の中の1種または2種以上を含有してなる浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【0012】(3)上記(1)又は(2)記載の組成に、

P=0.030%以下

Ni=2.00%以下

Cr=2.00%以下

Mo=1.00%以下

Cu=0.50%以下

V=0.50%以下

Nb=0.050%以下

Ti=0.050%以下

B=0.0050%以下

O=0.0015%以下

の1種又は2種以上を含有してなる浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【0013】その化学成分の調整の最大のポイントは、Si含有量の増加である。Siはフェライト安定化元素であることが良く知られているが、鋼中のSi含有量を増量することにより、その特性の為、浸炭焼入れ-焼戻し処理後や浸炭窒化処理等の後の鋼の残留オーステナイトが減少し、その後のショットピーニング処理における表面粗さを低減できる適正な含有量の範囲を見い出した。

【0014】一方、ショットピーニング処理による圧縮残留応力の発生は、残留オーステナイトがマルテンサイトに変態する際の膨張によることが良く知られているが、Si含有量の増加により浸炭焼入れ-焼戻し処理や浸炭窒化処理等の後の残留オーステナイトが減少した場合でも、ショットピーニング処理により残留オーステナイトはマルテンサイトに変態し、圧縮残留応力の発生挙動は通常のSi含有量の鋼の場合と相違ないことを確認した。

【0015】また、ショットピーニング処理による表面硬さの向上は、上述した圧縮残留応力の発生に加えて、加工硬化によることが良く知られているが、Si含有量を増加した場合にも、表面硬さの向上は通常のSi含有量の鋼の場合と相違ないことも確認した。

【0016】以上の知見に至るまでには、数多くの実験による検証を積み重ねたが、以下にその一例を示す。表1には、ショットピーニング処理特性を評価するために使用した発明鋼と比較鋼の化学成分を示す。

【0017】

【表1】

No.	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	V	Nb	Ti	B	O	N	S	Pb	Bi	Te	Zr	Ca	備考
No. 1	0.11	0.77	1.99	0.011	0.02	2.00	0.02	0.10	0.024	-	-	-	-	0.0015	0.0118	0.014	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 2	0.30	0.81	0.39	0.012	0.02	0.03	0.02	0.11	0.050	-	-	-	-	0.0008	0.0150	0.015	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 3	0.21	0.40	0.60	0.010	0.02	1.05	0.02	0.10	0.025	0.50	-	-	-	0.0010	0.0200	0.016	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 4	0.21	1.50	0.81	0.010	2.00	1.04	0.01	0.50	0.024	-	0.050	-	-	0.0005	0.0131	0.014	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 5	0.22	0.05	0.80	0.010	0.02	1.04	1.00	0.10	0.011	-	-	-	-	0.0018	0.0122	0.016	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 6	0.20	0.82	0.60	0.010	0.01	1.07	0.02	0.12	0.035	-	-	0.049	0.0018	0.0030	0.0051	0.017	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 7	0.21	0.10	0.61	0.011	0.02	1.05	0.03	0.11	0.033	-	-	0.022	0.0050	0.0008	0.0076	0.016	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 8	0.21	1.33	0.81	0.012	0.01	1.06	0.02	0.11	0.028	-	-	-	-	0.0010	0.0103	0.006	0.09	-	-	-	-	発明鋼
No. 9	0.22	1.15	0.83	0.010	0.02	1.04	0.02	0.10	0.025	-	-	-	-	0.0015	0.0144	0.005	-	0.20	-	-	-	発明鋼
No. 10	0.21	0.15	0.83	0.010	0.02	1.04	0.01	0.12	0.026	-	-	-	-	0.0015	0.0133	0.050	-	-	0.0438	-	-	発明鋼
No. 11	0.21	0.35	0.89	0.011	0.01	1.05	0.03	0.13	0.027	-	-	-	-	0.0015	0.0098	0.047	-	-	-	0.80	-	発明鋼
No. 12	0.22	1.12	0.82	0.010	0.02	1.08	0.02	0.10	0.028	-	-	-	-	0.0007	0.0135	0.046	-	-	-	-	0.0008	発明鋼
A	0.21	0.08	0.89	0.014	1.00	0.89	0.70	0.11	0.018	-	0.017	-	-	0.0016	0.0135	0.012	-	-	-	-	-	比較鋼
B	0.19	0.12	0.85	0.012	0.06	1.32	0.61	0.11	0.021	-	0.021	-	-	0.0008	0.0125	0.008	-	-	-	-	-	比較鋼
C	0.21	0.21	1.06	0.019	0.50	0.97	0.27	0.09	0.028	-	-	-	-	0.0014	0.0135	0.006	-	-	-	-	-	比較鋼
D	0.24	0.25	1.08	0.015	0.06	1.25	0.11	0.07	0.022	-	-	-	-	0.0018	0.0159	0.015	-	-	-	-	-	比較鋼
E	0.22	0.24	0.71	0.022	0.09	1.04	0.38	0.11	0.021	-	-	-	-	0.0016	0.0134	0.008	-	-	-	-	-	比較鋼

【0018】ここで、第1発明鋼とは請求項1に該当する発明鋼で、第2発明鋼とは請求項2に該当する発明鋼である。発明鋼No. 1からNo. 12は実験室における高周波真空溶解炉により溶製し、比較鋼No. AからNo. Eは生産炉であるアーク式電気炉により溶製した。これらの鋼を1250℃に加熱し、30mmφに鍛伸後、925℃で焼準し、図1に示す形状試験片を各鋼種につき2本ずつ作製した。ここで、10mm幅で平行に加工した部位は、実際の歯車の面粗さを勘案して、最大粗さを10μmから20μmに仕上げた。これらの試験片全数を図2に示す条件で浸炭焼入れ-焼戻し処理を実施した

後、各鋼種につき1本のみを表2に示す条件でショットピーニング処理を実施した。

【0019】

【表2】

ショット粒径	0.6mmφ
ショット硬さ	HRC 58
ショット速度	100m/sec以上
アークハイト	0.8mmA以上
投射方式	エアノズル方式

【0020】そして、これらの各試験片の10mm幅で平行に加工した部位について、表面残留オーステナイト含有量、表面最大粗さ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力を測定した。表面不完全焼入れ層深さは、試験片を長手方向に垂直に切断し、表面近傍のマイクロ組織をナイタールでエッチングして測定した。表面硬さ

は、表面から50μmの位置までの硬さを10μm毎にマイクロビッカース硬さ計で測定した平均値である。また、最大残留応力については、表面を電解研磨で10～50μmづつ除去しながら残留応力を測定し、その最大値を採用した。

【0021】表3に測定結果を示す。ここで、ショットピーニング処理前のデータは、浸炭焼入れ-焼戻し処理のみを実施した試験片による測定値で、ショットピーニング処理後のデータは、浸炭焼入れ-焼戻し処理の後にショットピーニングを実施した試験片による測定値である。また、表面最大粗さの変化とは、ショットピーニング処理後の表面最大粗さからショットピーニング処理前の表面最大粗さを引いた値である。

【0022】

【表3】

No.		ショットピーニング処理前					ショットピーニング処理後					備考
		表面残留 ア含有量 (%)	表面硬さ (HV)	表面残留 応力 (MPa)	最大残留 応力 (MPa)	表面残留 ア含有量 (%)	表面最大粗さ の變化 ( $\mu\text{m}$ )	表面硬さ (HV)	表面残留 応力 (MPa)	最大残留 応力 (MPa)		
第1発明鋼	No. 1	10.5	811	-256	-356	3.1	2.7	930	-742	-1425	発明鋼	
	No. 2	8.2	811	-288	-333	3.5	2.6	925	-723	-1399	発明鋼	
	No. 3	13.6	845	-280	-388	4.0	2.8	955	-688	-1344	発明鋼	
	No. 4	7.5	813	-209	-296	2.9	2.4	933	-654	-1357	発明鋼	
	No. 5	10.8	841	-275	-389	3.3	2.5	957	-682	-1422	発明鋼	
	No. 6	9.0	813	-233	-312	3.4	2.1	929	-657	-1434	発明鋼	
第2発明鋼	No. 7	10.5	817	-249	-325	4.7	2.6	915	-666	-1455	発明鋼	
	No. 8	8.8	835	-221	-367	3.9	2.1	917	-788	-1488	発明鋼	
	No. 9	7.9	813	-280	-398	4.4	2.2	925	-690	-1453	発明鋼	
	No. 10	10.2	807	-289	-367	4.2	2.2	913	-721	-1422	発明鋼	
第2発明鋼	No. 11	9.0	811	-231	-321	3.1	2.1	911	-638	-1352	発明鋼	
	No. 12	9.4	812	-250	-385	3.9	2.0	926	-721	-1465	発明鋼	
	A	26.8	776	-292	-378	5.6	5.5	909	-757	-1333	比較鋼	
	B	28.5	785	-207	-304	4.2	5.9	931	-610	-1294	比較鋼	
比較鋼	C	26.6	742	-254	-356	6.0	7.1	911	-680	-1316	比較鋼	
	D	26.9	736	-274	-367	4.9	6.5	897	-634	-1321	比較鋼	
	E	25.5	749	-235	-296	5.7	5.8	921	-569	-1277	比較鋼	

【0023】以下に、これらのデータについて詳述する。まず、ショットピーニング前の試験片の結果について記す。図3には、ショットピーニング処理前の試験片の表面残留オーステナイト含有量とSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面残留オーステナイト含有量は15%以下であり、比較鋼に比べて表面残留オーステナイト含有量が少ないことがわかる。これは、フェライト安定化元素であるSi含有量を増量することにより、浸炭焼入れ-焼戻し後の鋼の残留オーステナイト含有量が抑えられたと推定される。

【0024】図4には、ショットピーニング処理前の試験片の表面硬さとSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面残硬さはHV800以上であり、比較鋼に比べて表面硬さが高いことがわかる。これは上述したように、発明鋼では軟質の残留オーステナイト含有量が低く、軟質の不完全焼入れ層深さが浅いことによる。次に、ショットピーニング後の試験片の結果について記す。

【0025】図5には、ショットピーニング処理前後の試験片の表面最大粗さの変化とSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明

鋼の表面最大粗さの変化は $3\mu\text{m}$ 以下であり、比較鋼に比べて表面最大粗さの変化が小さいことがわかる。これは上述したように、発明鋼では軟質の残留オーステナイト含有量が低く、かつ、表面硬さが高いことにより、ショットピーニング処理後も表面が粗れにくいことによるものと推察される。

【0026】図6には、ショットピーニング処理後の試験片の表面硬さとSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面硬さはショットピーニング処理前の表面硬さより高いHV900以上であり、比較鋼と同等以上のショットピーニング処理による表面硬さの向上効果があることがわかる。図7には、ショットピーニング処理後の試験片の最大残留応力および表面残留応力とSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の最大残留応力は圧縮側の $-1200\text{MPa}$ から $-1500\text{MPa}$ であり、また、表面残留応力は圧縮側の $-600\text{MPa}$ から $-800\text{MPa}$ であり、比較鋼と同等以上のショットピーニング処理による圧縮残留応力発生効果があることがわかる。

【0027】これより、いずれの発明鋼も比較鋼に比べてショットピーニング処理による表面粗さの増加が小さく、かつ、ショットピーニング処理による表面硬さの向上と圧縮残留応力の発生効果は比較鋼と同等以上であることがわかった。以上説明した研究成果から、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗さを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上する具体的な手法が発明された。

【0028】次に本発明の上記化学成分について、その限定理由を説明する。尚、歯車用鋼の化学成分は、その使用環境、すなわち、歯車の大きさ、負荷強度および浸炭焼入れ条件等を考慮して、種々の範囲におよぶが、本発明はそれらの想定しうる如何なる範囲においても発明の効果が発現することを確認して、成分請求範囲を請求した。

【0029】C: 0.10~0.30wt%  
Cは、歯車に要求される心部硬さを確保する為には、少なくとも0.10wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、心部の硬さが上昇し過ぎ、かつ心部の靱性を劣化させる。これを回避するためには上限を0.30wt%に限定する必要がある。従って、Cの添加量は0.10~0.30wt%の範囲とした。

【0030】Si: 0.40~1.50wt%  
Siは本発明鋼において最も重要な元素である。すなわち、Siは強力なフェライト安定化元素であり、ショットピーニング処理による表面粗さの増加の原因となる軟らかい残留オーステナイト含有量を減少する。また、歯車等が転動中に到達すると思われる250~300℃の温度域における軟化を小さくする元素でもある。これらの効果を発揮するためには少なくとも0.45wt%

以上の添加が必要である。しかし、Siは承知のようにフェライト安定化元素であり、その過剰な添加はAc3変態温度を上昇し、通常の焼入温度の範囲(820~860℃)で炭素含有量の低い心部でフェライトの出現が顕著となり強度の低下を招く。さらに、浸炭性を阻害したり、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を1.50wt%に限定する必要がある。

【0031】従って、Siの添加量は0.45~1.50wt%の範囲とした。

【0032】Mn: 0.30~2.00wt%  
Mnは、焼入性を確保する為に少なくとも0.30wt%以上の添加が必要である。しかしながら、過剰な添加は浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt%に限定する必要がある。従って、Mnの添加量は0.30~2.00wt%の範囲とした。

【0033】Al: 0.010~0.050wt%  
AlはNと結合してAlNを形成し、オーステナイト結晶粒度を微細化する作用を有する元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。その効果を発揮する為には、少なくとも0.010wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は疲労強度に対して有害な $\text{Al}_2\text{O}_3$ 介在物の生成を助長する。これを回避するためには上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Alの添加量は0.015~0.050wt%の範囲とした。

【0034】N: 0.0050~0.0200wt%  
NはAlやNbと結合してAlN、NbCNを形成し、オーステナイト結晶粒度の微細化に効果のある元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。その効果を発揮する為には、少なくとも0.0050wt%以上の添加が必要である。しかし、Bを添加し、焼入性を向上を図るためには、できるだけ少ない方が良く、かつ、その過剰な添加は凝固時の鋼塊表面での気泡の発生や鋼材の鍛造性の劣化を招く。これを回避するためには上限を0.0200wt%に限定する必要がある。従って、Nの添加量は0.0050~0.0200wt%の範囲とした。請求項2における各元素の添加は下記のとおりである。

【0035】S: 0.005~0.035wt%  
Sは大部分は硫化物系介在物として鋼中に存在し、歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.005wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、疲労強度低下を招く要因となる。これを回避するためには上限を0.035wt%に限定する必要がある。従って、Sの添加量は0.005~0.035wt%の範囲とした。

【0036】Pb: 0.01~0.09wt%



PbはSと同様に歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.01wt%以上の添加が必要である。しかしながら、その過剰な添加は、疲労強度低下を招く要因となる元素である。また、0.10wt%以上ではPbの取扱い上、集塵装置、方法等の法的な規制を受ける。これを回避するためには上限を0.09wt%に限定する必要がある。したがって、Pbの添加量は0.01~0.09wt%の範囲とした。

【0037】Bi: 0.04~0.20wt%  
BiはSやPbと同様に歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.04wt%以上の添加が必要である。しかしながら、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.20wt%に限定する必要がある。従って、Biの添加量は0.04~0.20wt%の範囲とした。

【0038】Te: 0.002~0.030wt%  
Teは硫化物系酸化物と母相であるFeの界面エネルギーを増加させ、その形状を紡錘形とし被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.002wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、熱間脆性を生ずる。これを回避するためには上限を0.030wt%に限定する必要がある。従って、Teの添加量は0.002~0.030wt%の範囲とした。

【0039】Zr: 0.01~0.20wt%  
Zrは、被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.01wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.20wt%に限定する必要がある。従って、Zrの添加量は0.01~0.20wt%の範囲とした。

【0040】Ca: 0.0001~0.0100wt%  
Caは、被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.0001wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.0100wt%に限定する必要がある。従って、Caの添加量は0.0001~0.0100wt%の範囲とした。本発明鋼では、さらにP, Ni, Cr, Mo, Cu, V, Nb, Ti, B, Oを含み得る。これらの元素の量については、下記の範囲とする。

【0041】P: 0.030wt%以下  
Pはオーステナイト粒界に偏析して粒界を脆弱することにより靱性や疲労強度を低下する元素であり、その含有量は低い方が好ましい。従って、Pの含有量は0.030wt%以下と限定した。

【0042】Ni: 2.00wt%以下  
Niは浸炭層および心部の靱性を向上させるとともに、

焼入性を向上する元素でもある。また、NiはSiと逆にオーステナイト安定化元素であるので、Siを添加することにより上昇したAc3変態温度を低下させる効果がある。したがってそのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、Niは高価な元素であることから過剰な添加は経済的な観点から望ましくなく、かえって残留オーステナイトの形成を促進することにより表面硬さの低下を招き、さらに、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt%に限定する必要がある。従って、Niの添加量は2.00wt%以下とした。

【0043】Cr: 2.00wt%以下  
Crは、焼入性を確保するために有用な元素である。したがって、Crにより焼入性を確保したい場合には、添加すべきである。しかしながら、過剰な添加は、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt%に限定する必要がある。従って、Crの添加量は2.00wt%以下とした。

【0044】Mo: 1.00wt%以下  
MoはNiと同様に、浸炭層および心部の靱性を向上させるとともに、焼入性を向上する元素でもある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、Moは高価な元素であることから過剰な添加は経済的な観点から望ましくなく、かつ、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を1.00wt%に限定する必要がある。従って、Moの添加量は1.00wt%以下とした。

Cu: 0.50wt%以下  
Cuは、400~600℃といった比較的高い温度域において析出硬化が期待できる元素である。したがって、歯面あるいは転動面の温度が著しく上昇する過酷な使用状況が想定される場合や、航空機材料のようにジェット推進機やタービン近傍の高音環境で使用される場合に添加することが望ましい。しかし、その過剰な添加は熱間脆性を増長し、かつ、浸炭性を阻害する。これを回避するためには上限を0.50wt%に限定する必要がある。従って、Cuの添加量は0.50wt%以下とした。

【0045】V: 0.50wt%以下  
Vは浸炭温度近傍の比較的低い温度においても炭化物を形成し、それらによる硬さの向上が期待できると同時に焼入性を向上する元素でもある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、その過剰な添加は、浸炭層の靱性を劣化させ、また、Vは高価な元素であることから経済的な観点から望ましくなく、かつ、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避す

るためには上限を0.50wt%に限定する必要がある。従って、Vの添加量は0.50wt%以下とした。

【0046】Nb:0.050wt%以下

Nbは鋼中のC、Nと結合して炭窒化物を形成し、A1Nと同様にオーステナイト結晶粒度の微細化に効果のある元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、その過剰な添加は粗大な炭窒化物を形成、析出し、浸炭層の靱性を損なう。これを回避するためには上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Nbの添加量は0.050wt%以下とした。

【0047】Ti:0.050wt%以下

Tiは鋼中のNが後述するBと結合してBNを生成しBの焼入性向上効果を劣化させることを防止する為に添加する元素である。したがってそのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、多量に添加すると大型のTiNを生成し疲労破壊の起点となる可能性があるため、上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Tiの添加量は0.050wt%以下とした。

【0048】B:0.0050wt%以下

Bは、浸炭前の鋼材の冷鍛性や切削性を劣化させることなく、焼入性を向上する元素である。また、Bはフェライトの変態を遅らせる元素であり、Siを添加することにより発生しやすくなったフェライトを抑制する効果がある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、0.0050wt%以上添加してもその効果が飽和するとともに、熱間加工性を劣化するために、上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Bの添加量は0.050wt%以下とした。

【0049】O:0.0015wt%以下

Oは、鋼中においては酸化物系介在物として存在し、疲労強度を損なう元素である。従って、Oの上限を0.0015wt%以下と規定した。

【0050】

【発明の実施の形態】次に、実施例を挙げて、本発明を更に詳細に説明する。表4には、以上の知見を元にして実炉溶製した発明鋼の化学成分を示す。ここで、発明鋼1はボロン無添加鋼で、発明鋼2はボロン添加鋼である。

【0051】

【表4】

単位：重量パーセント

	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	V	Nb	Ti	B	O	N	S
発明鋼 1	0.20	0.55	0.55	0.015	0.30	0.80	0.35	0.10	0.024	0.05	0.020	0.000	0.0000	0.0007	0.0121	0.015
発明鋼 2	0.20	0.77	0.60	0.017	0.05	0.81	0.02	0.09	0.025	0.00	0.020	0.025	0.0020	0.0008	0.0073	0.018

【0052】これらの鋼について、ローラー・ピッチング疲労試験を実施し、それらのピッチング疲労寿命を評価した。図9には、ローラー・ピッチング疲労試験機の概要を示す。ここで1は試験片、2は負荷ローラー、3、4は噛み合い歯車、5は軸受け、6はカップリング、7は伝達ベルト、8はモーターである。図10はローラー・ピッチング疲労試験片の形状、図11はローラー・ピッチング疲労試験機の負荷ローラーの形状を示す。発明鋼と比較鋼は、先ず、熱間鍛造後焼準され、機械加工された。次に、図2に示す条件で浸炭焼入れ焼戻し処理を実施し、その後さらに、表2に示す条件でシ

ョットピーニング処理を施した。これらの試験片の一部を切断し、表面最大粗さ、表面不完全焼入れ層深さ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力を測定した。表5に、これらの結果を示すが、発明鋼1および2はいずれも比較鋼に比べて、表面最大粗さが小さく、表面不完全焼入れ層深さが浅く、かつ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力が比較鋼と同等以上に高いことがわかる。

【0053】

【表5】

マーク	表面最大粗さ	表面硬さ	表面残留応力	最大残留応力	ローラー・ピッチング疲労試験におけるL50寿命
○ 発明鋼 1	2.4 $\mu\text{m}$	HV 945	-758 MPa	-1402 MPa	20.0 $\times 10^6$ 以上
△ 発明鋼 2	2.2 $\mu\text{m}$	HV 905	-723 MPa	-1444 MPa	20.0 $\times 10^6$ 以上
● 比較鋼 A	6.3 $\mu\text{m}$	HV 913	-731 MPa	-1347 MPa	10.8 $\times 10^6$
▲ 比較鋼 B	6.8 $\mu\text{m}$	HV 933	-701 MPa	-1271 MPa	8.5 $\times 10^6$
■ 比較鋼 C	8.6 $\mu\text{m}$	HV 918	-751 MPa	-1401 MPa	6.3 $\times 10^6$
▼ 比較鋼 D	8.9 $\mu\text{m}$	HV 901	-711 MPa	-1410 MPa	4.7 $\times 10^6$
◆ 比較鋼 E	8.2 $\mu\text{m}$	HV 922	-690 MPa	-1259 MPa	2.2 $\times 10^6$

【0054】図11に、ローラー・ピッチング疲労試験

の結果を示す。これから、発明鋼1および2のピッチン

グ疲労寿命はいずれも、L50寿命で評価して、比較鋼の2倍から10倍以上長いことがわかる。従って、発明鋼はボロンの添加の有無を問わず、当初の設計思想通り、ショットピーニング処理を施しても、表面粗さが小さく、かつ、表面硬さおよび残留応力は比較鋼と同等以上に高く、ピッチング疲労寿命が大幅に改善されることが確認された。

#### 【0055】

【発明の効果】以上のように、本発明により、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗さを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上することが可能となり、ピッチング疲労強度を現用鋼に比べて大幅に改善することが出来る。従って、本発明の効果としては、現状の製造工程においても、浸炭歯車の小型、軽量化が可能となり、また、同じ形状、寸法でもより高出力化が可能となり、歯車類を使用する産業界において、コストの低減と信頼性の向上に広く貢献することが挙げられる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】試験片の形状

【図2】浸炭焼入れ-焼戻し処理条件

【図3】ショットピーニング処理前の試験片の表面残留オーステナイト含有量とSi含有量とSi含有量の関係

【図4】ショットピーニング処理前の試験片の表面硬さとSi含有量の関係

【図5】ショットピーニング処理後の試験片の表面最大粗さとSi含有量の関係

【図6】ショットピーニング処理後の試験片の表面硬さとSi含有量の関係

【図7】ショットピーニング処理後の試験片の最大残留応力および表面残留応力とSi含有量の関係

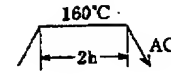
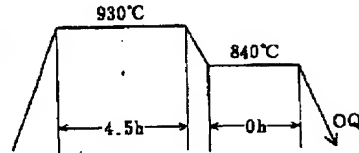
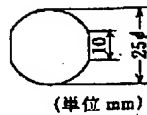
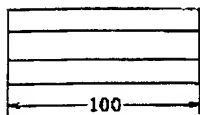
【図8】ローラー・ピッチング疲労試験機の概要

【図9】ローラー・ピッチング疲労試験機の形状

【図10】ローラー・ピッチング疲労試験機の負荷ローラーの形状

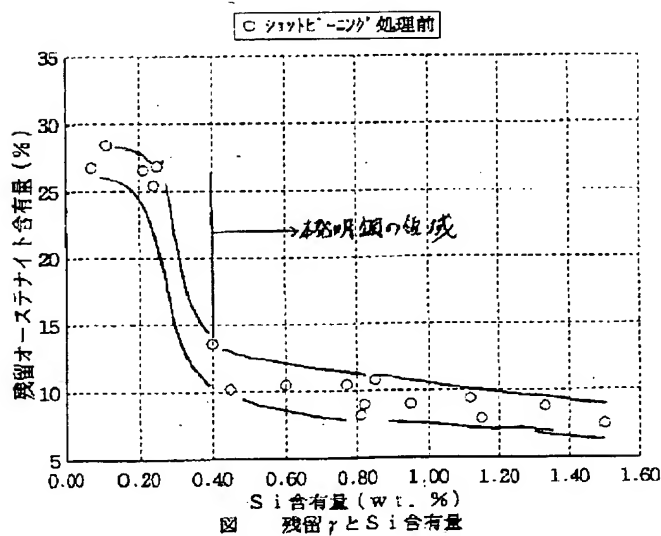
【図11】ローラー・ピッチング疲労試験の結果

【図1】

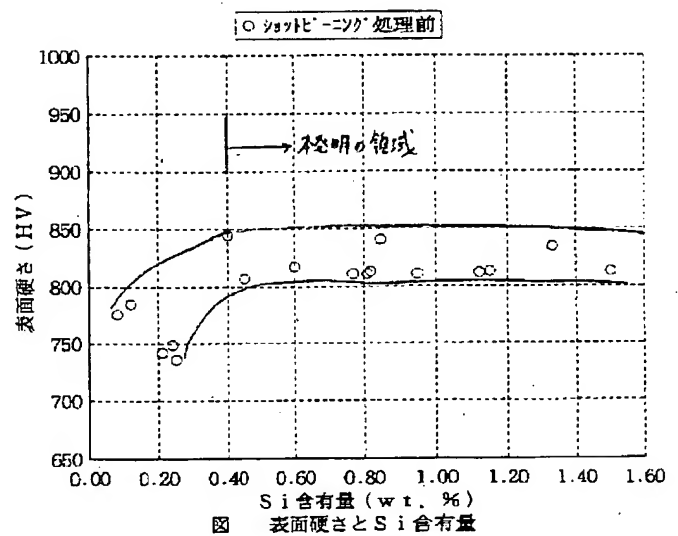


【図2】

【図3】



【図4】



【図5】

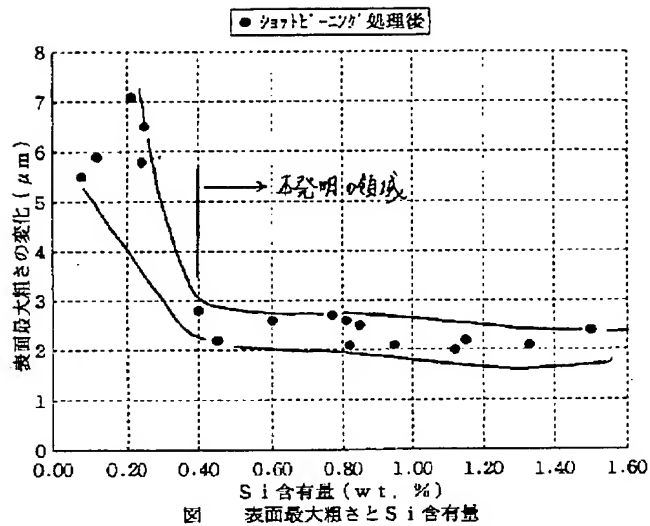


図 表面最大粗さと Si 含有量

【図6】

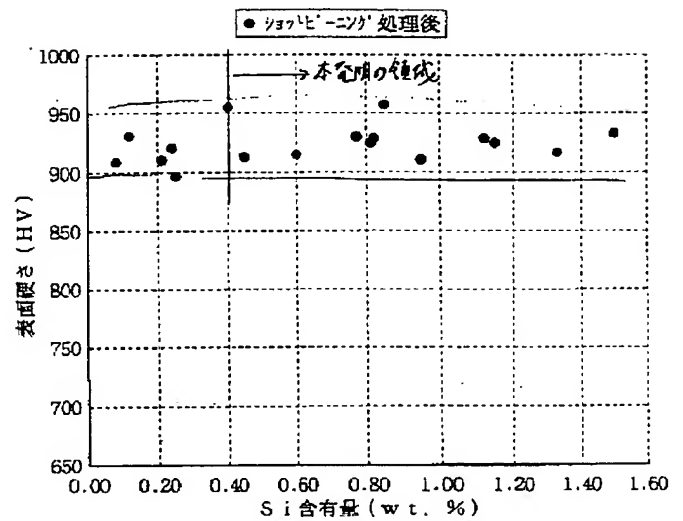


図 表面硬さと Si 含有量

【図7】

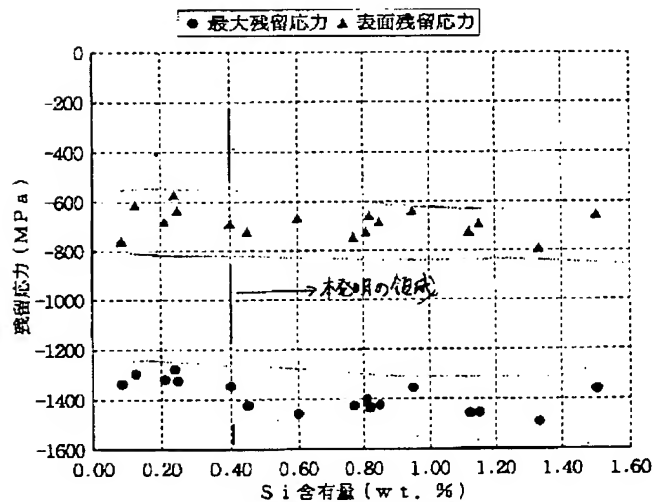
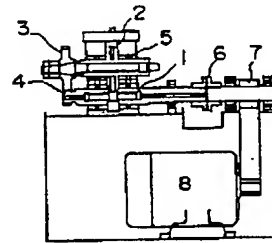
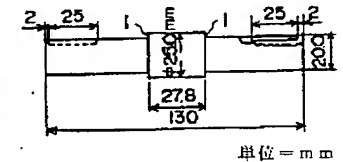


図 残留応力と Si 含有量

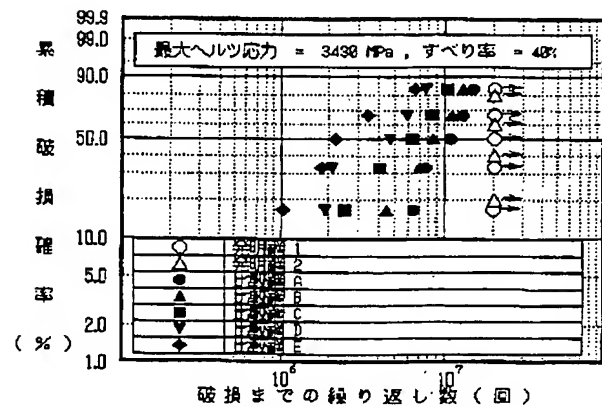
【図8】



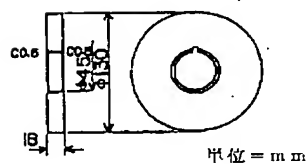
【図9】



【図11】



【図10】



## 【手続補正書】

【提出日】平成11年9月1日(1999.9.1)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼

【特許請求の範囲】

【請求項1】 浸炭あるいは浸炭窒化処理後にショットピーニング処理する鋼であって、重量パーセントで

$C=0.10\sim0.30\%$

$Si=0.40\sim1.50\%$

$Mn=0.30\sim2.00\%$

$P=0.030\%$ 以下

$S=0.005\sim0.035\%$

$Cr=0.10\sim2.00\%$

$Al=0.01\sim0.050\%$

$O=0.0015\%$ 以下

$N=0.0050\sim0.0250\%$

を含有し、さらに

$Ni=2.00\%$ 以下

$Mo=1.00\%$ 以下

$Cu=0.50\%$ 以下

$V=0.50\%$ 以下

$Nb=0.050\%$ 以下

$Ti=0.050\%$ 以下

$B=0.0050\%$ 以下

のうちから1種又は2種以上を含有してなり、残部Fe並びに不可避免的不純物元素からなることを特徴とする浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【請求項2】 請求項1記載の組成に、

$Pb=0.01\sim0.09\%$

$Bi=0.04\sim0.20\%$

$Te=0.002\sim0.030\%$

$Zr=0.01\sim0.20\%$

$Ca=0.0001\sim0.0100\%$

の中の1種または2種以上を含有してなる浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、浸漬焼入れ、焼戻し処理や浸炭窒化処理等の後に、ショットピーニング処理を実施することにより、歯車類の疲労強度を向上する浸炭あるいは浸炭窒化処理用鋼に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の技術として、歯車類の疲労強度を向上する為に、浸炭焼入れ-焼戻し処理や浸炭窒化処理等の後にショットピーニング処理を実施し、圧縮残留応

力と表面硬さの向上を図る方法自体は普遍的に活用されている。

【0003】近年、自動車類の燃費改善やエンジン高出力化への対応として、歯車類の小型・軽量化と高応力負荷化が要求されているが、ショットピーニング処理の際にショットの投射条件をより強くすることによって、より高強度化を図る方法が指向されている。

【0004】ところが、従来技術では、ショットピーニング処理の強度を上げると、表面粗さが大きくなり、歯車転動中の接触面で摩擦力が大きくなることより、かえって、面疲労強度が低下する現象が見られるようになってきた。

【0005】これに対して、特開平3-120313では、ショットピーニング処理後切削加工により表面粗れを改善する方法が提案されている。また、特公平7-109004では、軟らかい表面不完全焼入れ層深さを低減することにより、ショットピーニング処理後の表面粗さを低減する方法が提案されている。

【0006】しかしながら、前者の方法については、切削工程が必要なことからコストが上昇し、複雑な歯車形状では切削が困難であるといった問題点がある。

【0007】また、後者の方法については、表面不完全焼入れ層深さだけを低減しても、焼入れの際に生ずる残留オーステナイト量の存在から、必ずしも表面硬さの低下が抑えられず、ショットピーニング処理後に表面粗さが大きくなる鋼種もあるといった問題点がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明が解決しようとする課題は、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗れを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記課題を解決するための手段として、鋭意研究を重ねた結果、浸炭焼入れ-焼戻し処理後や浸炭窒化処理等の後のショットピーニング処理前に、軟らかい残留オーステナイトを減少することによって、ショットピーニング処理による表面粗れの増加を低減し、かつ、圧縮残留応力と表面硬さを向上できる組成を見出した。

【0010】また、浸炭焼入れ-焼戻し処理後や浸炭窒化処理後の残留オーステナイトは、鋼の化学成分を調整することによって、浸炭および浸炭窒化処理用鋼として想定しうる化学成分の範囲全般においても、減少できる組成を見出した。

【0011】すなわち、本発明は下記の構成よりなる。

【0012】(1) 浸炭あるいは浸炭窒化処理後にショットピーニング処理する鋼であって、重量パーセントで

$C=0.10\sim0.30\%$

$Si=0.40\sim1.50\%$

$Mn = 0.30 \sim 2.00\%$   
 $P = 0.030\%$ 以下  
 $S = 0.005 \sim 0.035\%$   
 $Cr = 0.10 \sim 3.00\%$   
 $Al = 0.01 \sim 0.050\%$   
 $O = 0.0015\%$ 以下  
 $N = 0.0050 \sim 0.0250\%$   
 を含有し、さらに  
 $Ni = 2.00\%$ 以下  
 $Mo = 1.00\%$ 以下  
 $Cu = 0.50\%$ 以下  
 $V = 0.50\%$ 以下  
 $Nb = 0.050\%$ 以下  
 $Ti = 0.050\%$ 以下  
 $B = 0.0050\%$ 以下

のうちから1種又は2種以上を含有してなり、残部Fe  
 並びに不可避免的不純物元素からなることを特徴とする浸  
 炭あるいは浸炭窒化処理用鋼。

【0013】(2)上記(1)記載の組成に、

$Pb = 0.01 \sim 0.09\%$   
 $Bi = 0.04 \sim 0.20\%$   
 $Te = 0.002 \sim 0.030\%$   
 $Zr = 0.01 \sim 0.20\%$   
 $Ca = 0.0001 \sim 0.0100\%$

の中の1種または2種以上を含有してなる浸炭あるいは  
 浸炭窒化処理用鋼。

【0014】その化学成分の調整の最大のポイントは、  
 Si含有量の増加である。Siはフェライト安定化元素  
 であることが良く知られているが、鋼中のSi含有量を

増量することにより、その特性の為、浸炭焼入れ焼戻  
 し処理後や浸炭窒化処理等の後の鋼の残留オーステナイ  
 トが減少し、その後のショットピーニング処理における  
 表面粗れを低減できる適正な含有量の範囲を見出し  
 た。

【0015】一方、ショットピーニング処理による圧縮  
 残留応力の発生は、残留オーステナイトがマルテンサイ  
 トに変態する際の膨張によることが良く知られている  
 が、Si含有量の増加により浸炭焼入れ焼戻し処理や  
 浸炭窒化処理等の後の残留オーステナイトが減少した場  
 合でも、ショットピーニング処理により残留オーステナ  
 イトはマルテンサイトに変態し、圧縮残留応力の発生挙  
 動は通常のSi含有量の鋼の場合と相違ないことを確認  
 した。

【0016】また、ショットピーニング処理による表面  
 硬さの向上は、上述した圧縮残留応力の発生に加えて、  
 加工硬化によることが良く知られているが、Si含有量  
 を増加した場合にも、表面硬さの向上は通常のSi含有  
 量の鋼の場合と相違ないことも確認した。

【0017】以上の知見に至るまでには、数多くの実験  
 による検証を積み重ねたが、以下にその一例を示す。表  
 1には、ショットピーニング処理特性を評価するために  
 使用した発明鋼と比較鋼の化学成分を示す。発明鋼No.  
 1からNo.12は実験室における高周波真空溶解炉によ  
 り溶製し、比較鋼No. AからNo. Eは生産炉であるアー  
 ク式電気炉により溶製した。

【0018】

【表1】

単位 : 重量パーセント

No.	C	Si	Mn	P	Mi	Cr	Mo	Cu	Al	V	Nb	Ti	B	O	N	S	Pb	Bi	Te	Zr	Ca	備考
No. 1	0.11	0.77	1.98	0.011	0.02	2.00	0.02	0.10	0.024	-	-	-	-	0.0015	0.0119	0.014	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 2	0.30	0.81	0.30	0.012	0.02	0.10	0.02	0.11	0.050	-	-	-	-	0.0008	0.0150	0.015	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 3	0.21	0.40	0.80	0.010	0.02	1.05	0.02	0.10	0.025	0.50	-	-	-	0.0010	0.0200	0.015	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 4	0.21	1.59	0.61	0.010	2.00	1.04	0.01	0.50	0.024	-	0.050	-	-	0.0008	0.0131	0.014	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 5	0.22	0.85	0.80	0.050	0.02	1.04	1.00	0.10	0.011	-	-	-	-	0.0019	0.0122	0.016	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 6	0.20	0.82	0.60	0.010	0.01	1.07	0.02	0.12	0.035	-	-	0.049	0.0018	0.0030	0.0051	0.017	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 7	0.21	0.60	0.61	0.011	0.02	1.05	0.03	0.11	0.033	-	-	0.022	0.0050	0.0009	0.0078	0.018	-	-	-	-	-	発明鋼
No. 8	0.21	1.33	0.61	0.012	0.01	1.06	0.02	0.11	0.028	-	-	-	-	0.0010	0.0103	0.006	0.09	-	-	-	-	発明鋼
No. 9	0.22	1.15	0.83	0.010	0.02	1.04	0.02	0.10	0.025	-	-	-	-	0.0015	0.0144	0.005	-	0.20	-	-	-	発明鋼
No. 10	0.21	0.45	0.63	0.010	0.02	1.04	0.01	0.12	0.028	-	-	-	-	0.0015	0.0132	0.050	-	-	0.0408	-	-	発明鋼
No. 11	0.21	0.95	0.60	0.011	0.01	1.05	0.03	0.13	0.027	-	-	-	-	0.0015	0.0099	0.047	-	-	-	0.50	-	発明鋼
No. 12	0.22	1.12	0.82	0.010	0.02	1.06	0.02	0.10	0.028	-	-	-	-	0.0007	0.0125	0.045	-	-	-	-	0.0098	発明鋼
A	0.21	0.08	0.80	0.014	1.00	0.80	0.70	0.11	0.018	-	0.017	-	-	0.0016	0.0135	0.012	-	-	-	-	-	比較鋼
B	0.19	0.12	0.85	0.012	0.06	1.32	0.61	0.11	0.021	-	0.021	-	-	0.0009	0.0125	0.008	-	-	-	-	-	比較鋼
C	0.21	0.21	1.00	0.019	0.50	0.97	0.27	0.09	0.028	-	-	-	-	0.0014	0.0135	0.006	-	-	-	-	-	比較鋼
D	0.24	0.25	1.06	0.015	0.05	1.25	0.11	0.07	0.022	-	-	-	-	0.0018	0.0156	0.015	-	-	-	-	-	比較鋼
E	0.22	0.24	0.77	0.022	0.09	1.04	0.36	0.11	0.021	-	-	-	-	0.0015	0.0134	0.009	-	-	-	-	-	比較鋼

発明鋼

比較鋼

【0019】発明鋼No. 1からNo. 12は実験室における高周波真空溶解炉により溶製し、比較鋼No. AからNo. Eは生産炉であるアーク式電気炉により溶製した。これらの鋼を1250℃に加熱し、30mmφに鍛伸後、925℃で焼準し、図1に示す形状試験片を各鋼種につき2本ずつ作製した。ここで、10mm幅で平行に加工した部位は、実際の歯車の面粗さを勘案して、最大粗さを10μmから20μmに仕上げた。これらの試験片全

数を図2に示す条件で浸炭焼入れ-焼戻し処理を実施した後、各鋼種につき1本のみを表2に示す条件でショットピーニング処理を実施した。

【0020】

【表2】

ショット粒径	0.6mmφ
ショット硬さ	HRC 58
ショット速度	100m/sec以上
アークハイト	0.8mmA以上
投射方式	エアノズル方式

【0021】そして、これらの各試験片の10mm幅で平行に加工した部位について、表面残留オーステナイト含有量、表面最大粗さ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力を測定した。表面不完全焼入れ層深さは、試験片を長手方向に垂直に切断し、表面近傍のミクロ組織をナイタールでエッチングして測定した。表面硬さは、表面から50μmの位置までの硬さを10μm毎にマイクロビッカース硬さ計で測定した平均値である。ま

た、最大残留応力については、表面を電解研磨で10～50μmづつ除去しながら残留応力を測定し、その最大値を採用した。

【0022】表3に測定結果を示す。ここで、ショットピーニング処理前のデータは、浸炭焼入れ-焼戻し処理のみを実施した試験片による測定値で、ショットピーニング処理後のデータは、浸炭焼入れ-焼戻し処理の後にショットピーニングを実施した試験片による測定値である。また、表面最大粗さの変化とは、ショットピーニング処理後の表面最大粗さからショットピーニング処理前の表面最大粗さを引いた値である。

【0023】

【表3】



No.	ショットピーニング処理前					ショットピーニング処理後					備考
	表面残留 γ含有量 (%)	表面硬さ (HV)	表面残留 応力 (MPa)	最大残留 応力 (MPa)	表面残留 γ含有量 (%)	表面最大粗さ の変化 (μm)	表面硬さ (HV)	表面残留 応力 (MPa)	最大残留 応力 (MPa)		
発明鋼	No. 1	10.5	811	-256	-356	3.1	2.7	930	-742	-1425	発明鋼
	No. 2	8.2	811	-298	-333	3.5	2.6	925	-723	-1399	発明鋼
	No. 3	13.6	845	-280	-388	4.0	2.8	955	-688	-1344	発明鋼
	No. 4	7.5	813	-209	-296	2.9	2.4	933	-654	-1357	発明鋼
	No. 5	10.8	841	-275	-389	3.3	2.5	957	-682	-1422	発明鋼
	No. 6	9.0	813	-233	-312	3.4	2.1	929	-657	-1434	発明鋼
	No. 7	10.5	917	-249	-325	4.7	2.6	915	-666	-1455	発明鋼
	No. 8	8.8	835	-221	-367	3.9	2.1	917	-788	-1488	発明鋼
	No. 9	7.9	813	-288	-398	4.4	2.2	925	-690	-1453	発明鋼
	No. 10	10.2	807	-289	-367	4.2	2.2	913	-721	-1422	発明鋼
	No. 11	9.0	811	-231	-321	3.1	2.1	911	-638	-1352	発明鋼
	No. 12	9.4	812	-250	-385	3.9	2.0	929	-721	-1455	発明鋼
比較鋼	A	26.8	775	-292	-378	5.6	5.5	909	-757	-1333	比較鋼
	B	28.5	785	-207	-304	4.2	5.9	931	-610	-1294	比較鋼
	C	26.5	742	-254	-356	6.0	7.1	911	-680	-1316	比較鋼
	D	26.9	736	-274	-367	4.9	6.5	897	-634	-1321	比較鋼
	E	25.5	749	-235	-296	5.7	5.8	921	-569	-1277	比較鋼

【0024】以下に、これらのデータについて詳述する。まず、ショットピーニング前の試験片の結果について記す。

【0025】図3には、ショットピーニング処理前の試験片の表面残留オーステナイト含有量とSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面残留オーステナイト含有量は15%以下であり、比較鋼に比べて表面残留オーステナイト含有量が少ないことがわかる。これは、フェライト安定化元素であるSi含有量を増量することにより、浸炭焼入れ-焼戻し後の鋼の残留オーステナイト含有量が抑えられた為

と推定される。

【0026】図4には、ショットピーニング処理前の試験片の表面硬さとSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面残硬さはHV800以上であり、比較鋼に比べて表面硬さが高いことがわかる。これは上述したように、発明鋼では軟質の残留オーステナイト含有量が低いことによる。

【0027】次に、ショットピーニング後の試験片の結果について記す。

【0028】図5には、ショットピーニング処理前後の試験片の表面最大粗さの変化とSi含有量の関係を示

す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面最大粗さの変化は $3\mu\text{m}$ 以下であり、比較鋼に比べて表面最大粗さの変化が小さいことがわかる。これは上述したように、発明鋼では軟質の残留オーステナイト含有量が低く、かつ、表面硬さが高いことにより、ショットピーニング処理後も表面が粗れにくいことによるものと推察される。

【0029】図6には、ショットピーニング処理後の試験片の表面硬さとSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の表面硬さはショットピーニング処理前の表面硬さより高いHV900以上であり、比較鋼と同等以上のショットピーニング処理による表面硬さの向上効果があることがわかる。図7には、ショットピーニング処理後の試験片の最大残留応力および表面残留応力とSi含有量の関係を示す。これより、Si含有量が0.40wt%以上の発明鋼の最大残留応力は圧縮側の $-1200\text{MPa}$ から $-1500\text{MPa}$ であり、また、表面残留応力は圧縮側の $-600\text{MPa}$ から $-800\text{MPa}$ であり、比較鋼と同等以上のショットピーニング処理による圧縮残留応力発生の効果があることがわかる。

【0030】これより、いずれの発明鋼も比較鋼に比べてショットピーニング処理による表面粗さの増加が小さく、かつ、ショットピーニング処理による表面硬さの向上と圧縮残留応力の発生の効果は比較鋼と同等以上であることがわかった。

【0031】以上説明した研究成果から、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗さを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上する具体的な手法が発明された。

【0032】次に本発明の上記化学成分について、その限定理由を説明する。尚、歯車用鋼の化学成分は、その使用環境、すなわち、歯車の大きさ、負荷強度および浸炭焼入れ条件等を考慮して、種々の範囲におよぶが、本発明はそれらの想定しうる如何なる範囲においても発明の効果が得られることを確認して、成分請求範囲を請求した。

【0033】請求項1における組成限定の理由は次のとおりである。

【0034】C: 0.10~0.30wt%

Cは、歯車に要求される心部硬さを確保する為には、少なくとも0.10wt%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、心部の硬さが上昇し過ぎ、かつ心部の靱性を劣化させる。これを回避するためには上限を0.30wt%に限定する必要がある。従って、Cの添加量は0.10~0.30wt%の範囲とした。

【0035】Si: 0.40~1.50wt%

Siは本発明鋼において最も重要な元素である。すなわち、Siは強力なフェライト安定化元素であり、ショットピーニング処理による表面粗さの増加の原因となる軟

らかい残留オーステナイト含有量を減少する。また、歯車等が転動中に到達すると思われる $250\sim300^{\circ}\text{C}$ の温度域における軟化を小さくする元素でもある。これらの効果を発揮するためには少なくとも0.45wt.%以上の添加が必要である。しかし、Siは承知のようにフェライト安定化元素であり、その過剰な添加はAc3変態温度を上昇し、通常の焼入温度の範囲( $820\sim860^{\circ}\text{C}$ )で炭素含有量の低い心部でフェライトの出現が顕著となり強度の低下を招く。さらに、浸炭性を阻害したり、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を1.50wt.%に限定する必要がある。

【0036】従って、Siの添加量は0.45~1.50wt.%の範囲とした。

【0037】Mn: 0.30~2.00wt%

Mnは、焼入性を確保する為に少なくとも0.30wt.%以上の添加が必要である。しかしながら、過剰な添加は浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt.%に限定する必要がある。従って、Mnの添加量は0.30~2.00wt.%の範囲とした。

【0038】P: 0.030wt%以下

Pはオーステナイト粒界に偏析して粒界を脆弱することにより靱性や疲労強度を低下する元素であり、0.030wt.%以上含むとこのような弊害が顕著となる。従って、Pの含有量は0.030wt.%以下と限定した。

【0039】S: 0.005~0.035wt%

Sは大部分は硫化物系介在物として鋼中に存在し、歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.005wt.%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、疲労強度低下を招く要因となる。これを回避するためには上限を0.035wt.%に限定する必要がある。従って、Sの添加量は0.005~0.035wt.%の範囲とした。

【0040】Cr: 0.10~2.00wt%以下

Crは、焼入性を確保するために少なくとも0.10wt.%以上の添加が必要である。しかしながら、過剰な添加は、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt.%に限定する必要がある。従って、Crの添加量は0.10~2.00wt.%以下とした。

【0041】Al: 0.010~0.050wt%

AlはNと結合してAlNを形成し、オーステナイト結晶粒度を微細化する作用を有する元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。その効果を発揮する為には、少なくとも0.010wt.%以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は疲労強度に対して有害な $\text{Al}_2\text{O}_3$ 介在物の生成を助長する。これを回避するためには上限を0.050wt.%に

限定する必要がある。従って、Alの添加量は0.015～0.050wt%の範囲とした。

【0042】O:0.0015wt%以下

Oは、鋼中においては酸化物系介在物として存在し、疲労強度を損なう元素である。従って、Oの上限を0.0015wt%以下と規定した。

【0043】N:0.0050～0.0200wt%

NはAlやNbと結合してAlN、NbCNを形成し、オーステナイト結晶粒度の微細化に効果のある元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。その効果を発揮する為には、少なくとも0.0050wt%以上の添加が必要である。しかし、Bを添加し、焼入性を向上を図るためには、できるだけ少ない方が良く、かつ、その過剰な添加は凝固時の鋼塊表面での気泡の発生や鋼材の鍛造性の劣化を招く。これを回避するためには上限を0.0200wt%に限定する必要がある。従って、Nの添加量は0.0050～0.0200wt%の範囲とした。

【0044】本発明鋼では、さらにNi、Mo、Cu、V、Nb、Ti、Bを含み得る。

【0045】これらの元素の量については、下記の範囲とする。

【0046】Ni:2.00wt%以下

Niは浸炭層および心部の靱性を向上させるとともに、焼入性を向上する元素でもある。また、NiはSiと逆にオーステナイト安定化元素であるので、Siを添加することにより上昇したAc3変態温度を低下させる効果がある。したがってそのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、Niは高価な元素であることから過剰な添加は経済的な観点から望ましくなく、かえって残留オーステナイトの形成を促進することにより表面硬さの低下を招き、さらに、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を2.00wt.%に限定する必要がある。従って、Niの添加量は2.00wt%以下とした。

【0047】Mo:1.00wt%以下

MoはNiと同様に、浸炭層および心部の靱性を向上させるとともに、焼入性を向上する元素でもある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、Moは高価な元素であることから過剰な添加は経済的な観点から望ましくなく、かつ、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を1.00wt%に限定する必要がある。従って、Moの添加量は1.00wt%以下とした。

Cu:0.50wt%以下

Cuは、400～600℃といった比較的高い温度域において析出硬化が期待できる元素である。したがって、歯面あるいは転動面の温度が著しく上昇する過酷な使用

状況が想定される場合や、航空機材料のようにジェット推進機やタービン近傍の高音環境で使用される場合に添加することが望ましい。しかし、その過剰な添加は熱間脆性を増し、かつ、浸炭性を阻害する。これを回避するためには上限を0.50wt%に限定する必要がある。

【0048】従って、Cuの添加量は0.50wt%以下とした。

【0049】V:0.50wt%以下

Vは浸炭温度近傍の比較的低い温度においても炭化物を形成し、それらによる硬さの向上が期待できると同時に焼入性を向上する元素でもある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、その過剰な添加は、浸炭層の靱性を劣化させ、また、Vは高価な元素であることから経済的な観点から望ましくなく、かつ、浸炭前の鋼材が硬くなり過ぎることにより、冷鍛性や切削性を劣化させる。これを回避するためには上限を0.50wt%に限定する必要がある。従って、Vの添加量は0.50wt%以下とした。

【0050】Nb:0.050wt%以下

Nbは鋼中のC、Nと結合して炭窒化物を形成し、AlNと同様にオーステナイト結晶粒度の微細化に効果のある元素であり、この細粒化を介して浸炭層および心部の靱性向上に寄与する。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、その過剰な添加は粗大な炭窒化物を形成、析出し、浸炭層の靱性を損なう。これを回避するためには上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Nbの添加量は0.050wt%以下とした。

【0051】Ti:0.050wt%以下

Tiは鋼中のNが後述するBと結合してBNを生成しBの焼入性向上効果を劣化させることを防止する為に添加する元素である。したがってそのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、多量に添加すると大型のTiNを生成し疲労破壊の起点となる可能性があるため、上限を0.050wt%に限定する必要がある。従って、Tiの添加量は0.050wt%以下とした。

【0052】B:0.0050wt%以下

Bは、浸炭前の鋼材の冷鍛性や切削性を劣化させることなく、焼入性を向上する元素である。また、Bはフェライトの変態を遅らせる元素であり、Siを添加することにより発生しやすくなったフェライトを抑制する効果がある。したがって、そのような効果を必要とする場合には添加すべきである。しかしながら、0.0050wt%以上添加してもその効果が飽和するとともに、熱間加工性を劣化するために、上限を0.0050wt%に限定する必要がある。従って、Bの添加量は0.0050wt%以下とした。

【0053】請求項2は前記請求項1にさらに元素を添

加するものであり各元素の添加理由は下記のとおりである。

【0054】Pb：0.01～0.09wt％

PbはSと同様に歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.01wt％以上の添加が必要である。しかしながら、その過剰な添加は、疲労強度低下を招く要因となる元素である。また、0.10wt％以上ではPbの取扱い上、集塵装置、方法等の法的な規制を受ける。これを回避するためには上限を0.09wt％に限定する必要がある。したがって、Pbの添加量は0.01～0.09wt％の範囲とした。

【0055】Bi：0.04～0.20wt％

BiはSやPbと同様に歯車のように切削加工により成形される部品では、被削性の向上に有効な元素である。そのためには少なくとも0.04wt％以上の添加が必要である。しかしながら、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.20wt％に限定する必要がある。従って、Biの添加量は0.04～0.20wt％の範囲とした。

【0056】Te：0.002～0.030wt％

Teは硫化物系酸化物と母相であるFeの界面エネルギーを増加させ、その形状を紡錘形とし被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.002wt％以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、熱間脆性を生ずる。これを回避するためには上限を

0.030wt％に限定する必要がある。従って、Teの添加量は0.002～0.030wt％の範囲とした。

【0057】Zr：0.01～0.20wt％

Zrは、被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.01wt％以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.20wt％に限定する必要がある。従って、Zrの添加量は0.01～0.20wt％の範囲とした。

【0058】Ca：0.0001～0.0100wt％

Caは、被削性を向上させる元素である。そのためには少なくとも0.0001wt％以上の添加が必要である。しかし、その過剰な添加は、靱性を低下させる。これを回避するためには上限を0.0100wt％に限定する必要がある。従って、Caの添加量は0.0001～0.0100wt％の範囲とした。

【0059】

【発明の実施の形態】次に、実施例を挙げて、本発明を更に詳細に説明する。表4には、以上の知見を元にして実炉溶製した発明鋼の化学成分を示す。ここで、発明鋼1はボロン無添加鋼で、発明鋼2はボロン添加鋼である。

【0060】

【表4】

単位：重量パーセント

	C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al	V	Nb	Ti	B	O	H	S
発明鋼 1	0.20	0.55	0.55	0.015	0.30	0.80	0.35	0.10	0.024	0.05	0.020	0.000	0.0000	0.0007	0.0121	0.015
発明鋼 2	0.20	0.77	0.60	0.017	0.05	0.81	0.02	0.09	0.025	0.00	0.020	0.025	0.0020	0.0008	0.0073	0.018

【0061】これらの鋼について、ローラー・ピッチング疲労試験を実施し、それらのピッチング疲労寿命を評価した。図9には、ローラー・ピッチング疲労試験機の概要を示す。ここで1は試験片、2は負荷ローラー、3、4は噛み合い歯車、5は軸受け、6はカップリング、7は伝達ベルト、8はモーターである。図10はローラー・ピッチング疲労試験機の形状、図11はローラー・ピッチング疲労試験機の負荷ローラーの形状を示す。発明鋼と比較鋼は、先ず、熱間鍛造後焼準され、機械加工された。次に、図2に示す条件で浸炭焼入れ焼戻し処理を実施し、その後さらに、表2に示す条件でシ

ョットピーニング処理を施した。これらの試験片の一部を切断し、表面最大粗さ、表面不完全焼入れ層深さ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力を測定した。表5に、これらの結果を示すが、発明鋼1および2はいずれも比較鋼に比べて、表面最大粗さが小さく、表面不完全焼入れ層深さが浅く、かつ、表面硬さ、表面残留応力および最大残留応力が比較鋼と同等以上に高いことがわかる。

【0062】

【表5】

マーク	表面最大粗さ	表面硬さ	表面残留応力	最大残留応力	ローラー・ピッチング 疲労試験 におけるL50寿命
○ 発明鋼 1	2.4 $\mu\text{m}$	HV 945	- 758 MPa	-1402 MPa	$20.0 \times 10^6$ 以上
△ 発明鋼 2	2.2 $\mu\text{m}$	HV 905	- 723 MPa	-1444 MPa	$20.0 \times 10^6$ 以上
● 比較鋼 A	6.3 $\mu\text{m}$	HV 913	- 731 MPa	-1347 MPa	$10.8 \times 10^6$
▲ 比較鋼 B	6.8 $\mu\text{m}$	HV 933	- 701 MPa	-1271 MPa	$8.5 \times 10^6$
■ 比較鋼 C	8.6 $\mu\text{m}$	HV 918	- 751 MPa	-1401 MPa	$6.3 \times 10^6$
▼ 比較鋼 D	8.9 $\mu\text{m}$	HV 901	- 711 MPa	-1410 MPa	$4.7 \times 10^6$
◆ 比較鋼 E	8.2 $\mu\text{m}$	HV 922	- 690 MPa	-1259 MPa	$2.2 \times 10^6$

【0063】図11に、ローラー・ピッチング疲労試験の結果を示す。これから、発明鋼1および2のピッチング疲労寿命はいずれも、L50寿命で評価して、比較鋼の2倍から10倍以上長いことがわかる。従って、発明鋼はボロンの添加の有無を問わず、当初の設計思想通り、ショットピーニング処理を施しても、表面粗さが小さく、かつ、表面硬さおよび残留応力は比較鋼と同等以上に高く、ピッチング疲労寿命が大幅に改善されることが確認された。

【0064】

【発明の効果】以上のように、本発明により、鋼の化学成分を調整することだけでショットピーニング処理による表面粗さを低減しながらも、圧縮残留応力と表面硬さを向上することが可能となり、ピッチング疲労強度を現用鋼に比べて大幅に改善することが出来る。従って、本発明の効果としては、現状の製造工程においても、浸炭歯車の小型、軽量化が可能となり、また、同じ形状、寸法でもより高出力化が可能となり、歯車類を使用する産業界において、コストの低減と信頼性の向上に広く貢献することが挙げられる。

【図面の簡単な説明】

【図1】試験片の形状

【図2】浸炭焼入れ・焼戻し処理条件

【図3】ショットピーニング処理前の試験片の表面残留オーステナイト含有量とSi含有量とSi含有量の関係

【図4】ショットピーニング処理前の試験片の表面硬さとSi含有量の関係

【図5】ショットピーニング処理後の試験片の表面最大粗さの変化とSi含有量の関係

【図6】ショットピーニング処理後の試験片の表面硬さとSi含有量の関係

【図7】ショットピーニング処理後の試験片の最大残留応力および表面残留応力とSi含有量の関係

【図8】ローラー・ピッチング疲労試験機の概要

【図9】ローラー・ピッチング疲労試験片の形状

【図10】ローラー・ピッチング疲労試験機の負荷ローラーの形状

【図11】ローラー・ピッチング疲労試験の結果

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☒ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**